

令和4年度一般選抜
個別学力試験問題(前期日程)

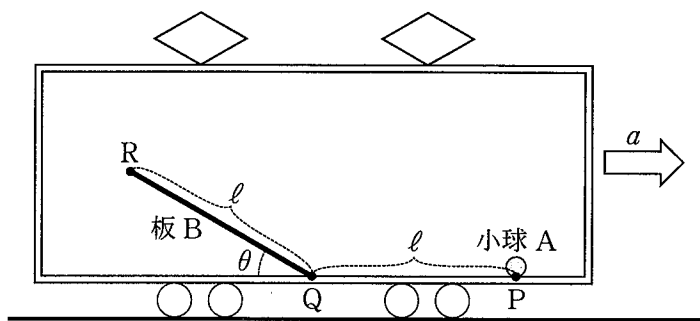
物 理

| 学部・学科 | 問 題 |
|---------------------------------------|--|
| 総合理工学部 (物理・マテリアル工学科) | 1, 2, 3, 4 |
| 総合理工学部 (物理・マテリアル工学科を除く) 生物資源科学部 | 1 (1), (2), (3), (4), (5), 2, 3, 4 (1), (2) |

注 意

1. 志望学部・学科により，解答用紙が異なるので，解答前に確認してください。
2. 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
3. 問題紙は9ページです。解答用紙は5枚です。指示があつてから確認し，解答用紙の所定の欄に受験番号を記入してください。
4. 総合理工学部 物理・マテリアル工学科受験生は，1, 2, 3, 4の問題を，総合理工学部(物理・マテリアル工学科を除く)受験生，生物資源科学部受験生は，1 (1), (2), (3), (4), (5), 2, 3, 4 (1), (2)の問題を解答してください。
5. 答えはすべて解答用紙の所定のところに記入してください。
6. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
7. 試験終了後，問題紙は持ち帰ってください。

- 1 下図のように、右向きに一定の加速度 a [m/s²] で走行中の電車内で、大きさの無視できる質量 m [kg] の小球 A の運動について考える。なお、小球 A は、紙面に平行な面内でのみ運動できるものとする。時刻 $t = 0$ s で、小球 A を点 P の位置に電車に対して静止した状態で置き、静かに手を離れた。電車の床面はなめらかで、点 P から左に ℓ [m] 離れた点 Q に長さ ℓ [m] の板 B の一端が固定されており、床となす角度 θ [rad] ($0 \text{ rad} < \theta < \frac{\pi}{2} \text{ rad}$) は調整できる。また、点 Q で電車の床面と、板 B はなめらかに接続されており、小球 A が点 Q を通過する直前と直後の速さは変わらないものとする。空気の抵抗や板 B の厚さは無視できるものとして、以下の問いに答えよ。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。



【共通問題】 (1)から(5)はすべての受験生が解答すること。

- (1) 車内の人から観測すると、小球 A は時刻 $t = 0$ s で左向きに動きはじめて、点 Q に到達した。小球 A が点 Q に到達した時刻 t_1 [s] と、そのときの小球 A の速さ v_1 [m/s] を求めよ。
- (2) 板 B の傾き θ を θ_1 [rad] とすると、車内で観測した小球 A は、点 Q を通過した後斜面を一定の速さ v_1 での上り始めた。小球 A と板 B の間に働く摩擦力は無視できるものとして、小球 A が斜面をのぼるときに、車内で観測した小球 A に働くすべての力を解答用紙の図に矢印で描き、それぞれの力の名称を示せ。また、このときの板 B の傾き θ_1 について成り立つ式を a と g を用いて表せ。

- (3) $\theta < \theta_1$ とすると、車内で観測した小球 A は、点 Q を通過した後に板面上を加速しながらのぼり板 B の他端(点 R)に到達した。小球 A が点 Q から点 R に到達するまでに、慣性力が小球 A にした仕事 W [J] を求めよ。
- (4) (3) のとき、小球 A と板 B の間に働く摩擦力は無視できるものとして、小球 A が点 R を通過するときの、車内から観測した小球 A の速さ v_2 [m/s] を求めよ。
- (5) 小球 A と板 B の間に働く摩擦力は無視できるものとして、小球 A が点 R から落ちないために θ が満たすべき条件を求めよ。

【選択問題】 (6) は総合理工学部 物理・マテリアル工学科の受験生が解答すること。

- (6) 小球 A と板 B の間に静止摩擦係数 μ 、動摩擦係数 μ' の摩擦がある場合、この過程で小球 A が板面上で静止するために μ および μ' が満たすべき条件を求めよ。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

2 媒質を伝わる横波について考える。以下の問いに答えよ。

x 軸上を同じ速さ 1 m/s で正の方向へ進行する正弦波(図1)と負の方向へ進行する正弦波(図2)について考える。図1および図2は時刻 $t = 0 \text{ s}$ における位置 $x[\text{m}]$ での媒質の変位 $y[\text{m}]$ を表したものである。

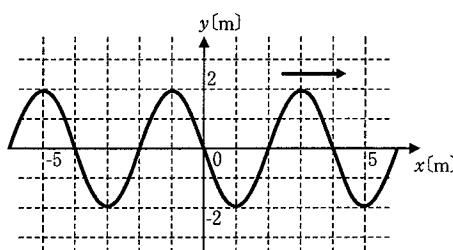


図1

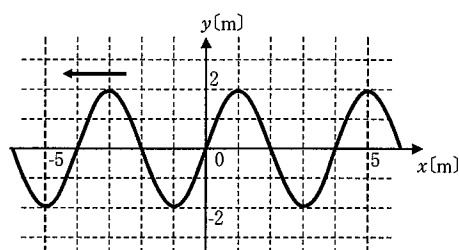


図2

- (1) 図1で表される正弦波の波長 $\lambda[\text{m}]$, 振幅 $A[\text{m}]$, 周期 $T[\text{s}]$, 振動数 $f[\text{Hz}]$ を答えよ。
- (2) 図1および図2で表される正弦波について, 位置 x および時刻 $t[\text{s}]$ における変位 y を, 正弦(\sin)関数を利用して式で表せ。
- (3) 図1で表される正弦波と図2で表される正弦波が同じ x 軸上に存在した場合, その合成波が定常波となることを(2)の結果を利用して説明し, 節となる位置を図1の範囲で答えよ。必要であれば,

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = 2 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \cos \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \text{ を用いても良い。}$$

図1と同じ波長，振幅，周期，振動数，速度を持った波が，図3のように x 軸上を正の方向へ進行している場合を考える。実線は時刻 $t = 0$ sにおける位置 x での媒質の変位 y を表しており，破線は時刻 $t = 5$ sにおける変位 y を表したものである。 $x = 10$ mの位置に自由端があり自由端反射が起きる。反射波は入射波と重なり合い合成波となる。

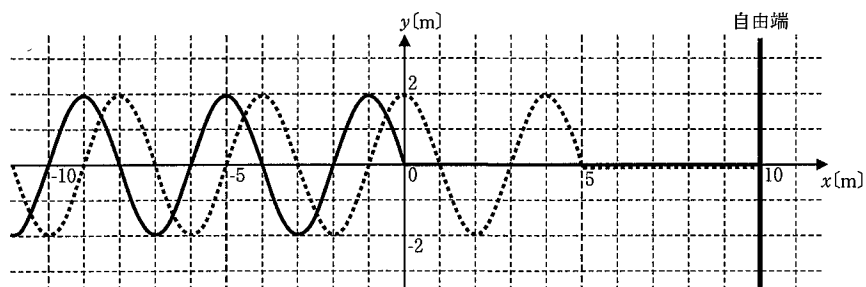


図3

- (4) 時刻 $t = 20$ sおよび 25 sにおいて観測される合成波の変位 y を位置 x が 0 mから 10 mの範囲で解答用紙のグラフに描け。
- (5) 位置 $x = 4$ mにおける変位 y の時間変化を時刻 t が 0 sから 20 sの範囲で解答用紙のグラフに描け。
- (6) 位置 $x = 10$ mにある自由端を固定端に変えた場合，十分に時間が経過したときに観測される合成波の変化について説明せよ。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

3 容器内に物質質量 n [mol] の単原子分子理想気体をなめらかに動くピストンによって密閉し、温度を T_A [K] とした。この単原子分子理想気体に熱量を加えて温度を上げることを考える。

気体定数を R [J/(mol·K)] とすると、温度 T [K] における n [mol] の単原子分子理想気体の内部エネルギーは $\frac{3}{2}nRT$ [J] で与えられることを用いて、以下の問いに答えよ。なお、解答は答えだけでなく、答えを導くまでの手順として、計算または説明も書くこと。

図1のように、ピストンを固定した状態で気体を加熱し、 気体の温度を T_B [K] ($T_B > T_A$) とした(操作1)。

- (1) 操作1で気体が外部にした仕事 W_1 [J] を求めよ。
- (2) 操作1で気体に加えられた熱量 Q_1 [J] を求めよ。
- (3) 気体 1 mol の温度を 1 K だけ上昇させるのに必要な熱量をモル比熱という。操作1におけるモル比熱 C_1 [J/(mol·K)] を求めよ。

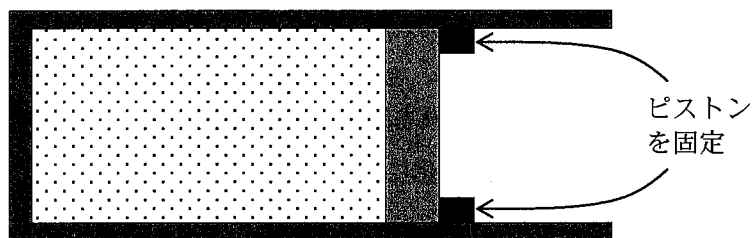


図1

図2のように、ピストンが自由に動く状態で気体を加熱し、気体の温度を T_B [K] ($T_B > T_A$) とした (操作2)。

- (4) 操作2で気体が外部にした仕事 W_2 [J] を求めよ。
- (5) 操作2で気体に加えられた熱量 Q_2 [J] を求めよ。
- (6) 操作2におけるモル比熱 C_2 [J/(mol·K)] が $C_1 + R$ と表されることを示せ。

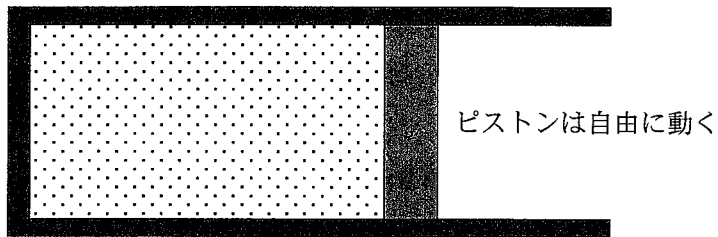


図2

- (7) 図2の状態から、ピストンを急激に押し込み気体の体積を減少させると、熱量を与えなくても気体の温度が上昇した。この理由を説明せよ。

- 4 以下の文章および図2の空欄㉑, ㉒, ...に適当な数式を解答欄に記入し, 空欄㉓, ㉔, ...は適当な語句を解答欄から選択して囲め。なお, 同じ記号の空欄には同じ数式や語句が入るものとする。

図1のように, 平面上にある長さ ℓ [m] の細い導体棒が, 平面内の点 O に一方の端を固定されて一定の角速度 ω [rad/s] で反時計回りに回転している。導体棒の他方の端を L とする。平面の上部には垂直上向きの一様な磁場(磁束密度 B [Wb/m²]) がかけられている。以下では導体棒の質量と電気抵抗, および導体棒中の自由電子(電荷 $-e$ [C]) に働く重力と遠心力は無視できるものとする。

【共通問題】 (1), (2) はすべての受験者が解答すること。

- (1) まず, この現象を導体棒中の個々の自由電子の観点から考察する。導体棒の中で, O から x [m] だけ離れた点 X にある自由電子は, 導体棒と垂直方向に速さ ωx [m/s] で運動しているため, ㉑ の向きに大きさ ㉒ [N] のローレンツ力を磁場から受けている。十分時間が経つと自由電子は導体棒に対して静止しているとみなせるので, 自由電子は導体棒中に発生する ㉓ の向きの電場から, 大きさ ㉔ の静電気力をローレンツ力とは逆方向に受けているはずである。したがって点 X における誘導電場の大きさ E は ㉕ [V/m] となり, x に比例する。特に, 点 L における誘導電場の大きさは ㉖ [V/m] である。 $0 \leq x \leq \ell$ の範囲における, E と x の関係を表すグラフは図2の直線になる。

点 X から点 L の方向に微小な距離 Δx [m] だけ離れた点を X' とする。点 X と点 X' の間の誘導電場はほぼ一定であるとみなすと, 点 X' の電位は点 X より ㉗ [V] だけ高い。この微小な電位差 ㉘ は, 図2の中の斜線の長方形の面積で表される。点 O と点 L の間の電位差 V [V] は, これらの細長い長方形の面積の総和である。よって, Δx をきわめて小さくとると, V は図2のグラフが横軸および $x = \ell$ の直線と囲む三角形の面積 ㉙ に等しくなる。

(2) 次に、この現象をファラデーの電磁誘導の法則から考察する。時間 Δt [s] の間に導体棒が通過する領域は半径 ℓ [m]、頂角 $\omega \Delta t$ [rad] の扇形であり、その面積は $\boxed{\text{㉞}}$ [m²] である。この面積を貫く磁束 $\Delta \Phi$ は $\boxed{\text{㉟}}$ [Wb] であるから、導体棒の両端 O、L の間に生じる誘導起電力 V_{em} の大きさは $\boxed{\text{㊱}}$ [V] である。この値は、(1) で得た電位差 V と比較して $\boxed{\text{㊲}}$ 。

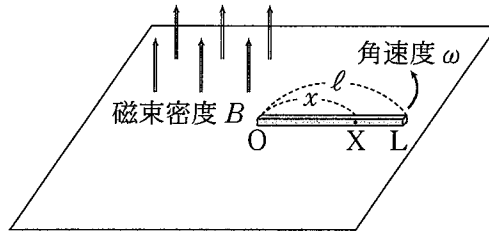


図 1

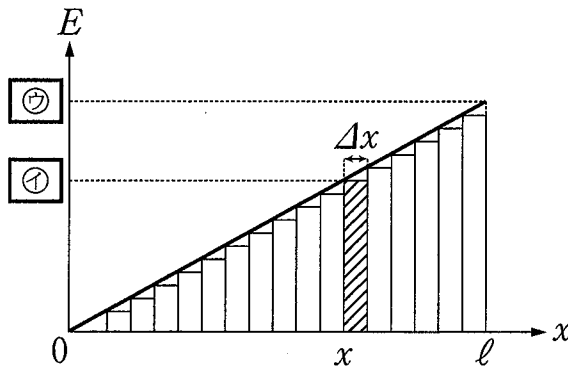


図 2

【選択問題】 (3)は総合理工学部 物理・マテリアル工学科受験者のみが解答すること。

- (3) 最後に、図3のように導体棒の両端を、導線で磁場の外部にある抵抗値 $R[\Omega]$ の電球と接続する。すると導体棒には の向きに [A] の電流が流れる。このとき導体棒が磁場から受ける力の大きさは [N] であり、その向きは である。

この力に逆らって導体棒を一定の角速度 ω で回転させ続けるため、導体棒の重心 G に大きさ の外力を とは逆向きに加える。導体棒が1回転する際に外力がする仕事は [J] であり、また1周期 [s] の間に電球で発生する熱量は [J] である。この装置は、磁場中で導体を回転させることで電流を発生させる発電機の基本的原理を示している。

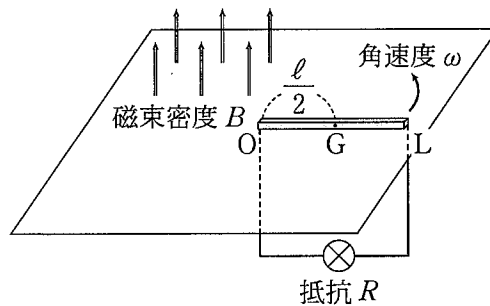


図3